



# Une approche multi-agents coopératifs pour la gestion des ressources matérielles dans un contexte multi-sites de e-manufacturing.

A. Benaouda, N. Zerhouni, C. Varnier

## ► To cite this version:

A. Benaouda, N. Zerhouni, C. Varnier. Une approche multi-agents coopératifs pour la gestion des ressources matérielles dans un contexte multi-sites de e-manufacturing.. 6ème Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation, MOSIM'06. Modélisation, Optimisation et Simulation des systèmes : défis et opportunités., Apr 2006, Rabat, Maroc. 8 p. hal-00327537

**HAL Id: hal-00327537**

**<https://hal.science/hal-00327537>**

Submitted on 8 Oct 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# UNE APPROCHE MULTI-AGENTS COOPERATIFS POUR LA GESTION DES RESSOURCES MATERIELLES DANS UN CONTEXTE MULTI-SITES DE e-MANUFACTURING

A. Benaouda, N. Zerhouni, C. Varnier

Laboratoire d'Automatique de Besançon, CNRS  
UMR CNRS 6596  
25, rue Alain Savary, 25000 Besançon, France  
{benaouda, zerhouni, Christophe.Varnier} @ ens2m.fr

**RESUME :** Dans cet article, nous proposons une modélisation basée sur le paradigme des systèmes multi-agents coopératifs appliquée à la gestion de ressources matérielles distribuées dans un environnement d'entreprises multi-sites distribués. Cette gestion constitue actuellement un challenge pour tous les producticiens du fait des influences économiques et technologiques modernes qui affectent ce genre d'entreprises. En effet, la redondance d'un stock d'un article quelconque dans plusieurs sites affecte négativement la santé économique de l'entreprise en tout, ce qui nous pousse à la recherche de méthodes optimales pouvant assurer un équilibrage de charge en matière de ces ressources entre les différents sites. Pour cela nous exploitons la plateforme Internet reliant les sites et en appliquant la technologie des Web Services basée sur les agents (agent demandeur, agent fournisseur et agent annuaire), nous mettons en œuvre une dynamique de coopération entre site déficitaire en article  $k$  et site excédentaire du même article et en généralisant ce principe à tous les articles, nous réaliserons l'équilibrage dynamique pouvant éviter à l'entreprise les sur-stockages et les sous-stockage de ces ressources matérielles.

**MOTS-CLES :** Système multi-agents coopératifs, gestion de ressources, e-manufacturing, Web Services, pièce de rechange.

## 1. INTRODUCTION

L'entreprise actuelle est une entreprise qui s'étend au delà des ses frontières organisationnelles « physiques », elle est caractérisée par une externalisation d'activités et par le développement de partenariats, par le biais des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) qui en sont le support. Les stratégies d'externalisation consistent pour l'entreprise à se procurer auprès des fournisseurs des services ou produits qui étaient auparavant assurés localement. Ces stratégies conduisent ce genre d'entreprises à s'associer avec d'autres entreprises dans une logique de complémentarité de ressources, généralement par un principe de coopération.

La gestion de stock de ressources pour un magasin ou pour un site local est actuellement une tâche très réalisable et très aisée, mais cette même gestion quand elle s'applique à une entreprise étendue, où les ressources sont distribuées, et où les sites sont interconnectée, par Internet par exemple, nécessite l'étude, la modélisation et la validation d'autres critères (communication, interaction, coopération, négociation, e-commerce, ...).

Quelques soient les modèles appliqués à cette gestion, le « zéro stock » reste un abus de langage car, le stock est indispensable, mais un stock dépassant un seuil non toléré affecte négativement l'entreprise. Car un sous-stockage provoque une rupture de stock, ce qui peut gé-

nérer l'arrêt de la machine qui peut à son rôle altérer la chaîne de production. Par contre, un sur-stockage provoque des coûts inutiles (assurances, locaux, gardiennage, vieillissement, etc.)

Il faut chercher donc un stock optimal  $S^*$ , au sens coût et disponibilité sur une période  $T$ , afin de ne pas exposer l'entreprise à une situation anormale.

Cela revient à rechercher pour chacun des sites de l'entreprise la quantité optimale pour chacune des ressources. Car souvent, on assiste à des situations de sur-stockage d'une ressource dans un site  $S_1$  au moment où un autre site  $S_2$  en a vraiment besoin et est en situation de sous-stockage qui provoque une rupture de stock en matière de même ressource.

Le problème tel qu'il se pose est un problème de type « équilibrage de charge », mais en terme de ressources entre les différents nœuds ou sites du réseau de l'entreprise.

Dans cette présente contribution, nous prenons, comme jeu de données de ressources, la pièce de rechange, car cette dernière constitue un élément d'une importance vitale pour le bon fonctionnement d'une entreprise.

Dans ce cadre, nous considérons que le problème de la gestion de la pièce de rechange est un problème de gestion de stock et non pas de tenue de stock, c'est-à-dire

optimiser les quantités et les coûts de stockage d'articles de façon à prévenir des situations de dépassement de seuils tolérés en matière de stockage en cette ressource.

Gérer la pièce de rechange revient donc à gérer le stock, mais en quantité stratégique juste suffisante pour répondre aux besoins demandés.

Cette étude se veut justement une contribution à la modélisation, par l'approche des Système Multi-Agents (SMA), de la gestion optimale et à l'équilibrage des ressources distribuées en utilisant une politique préventive pouvant apporter à une entreprise multi-sites ou des entreprises entre elles et qui adoptent le principe de coopération pour la gestion de leurs ressources un équilibre optimal. Cela assurera un gain de coût et de disponibilité continue et optimale pour toutes ressources et tous leurs sites.

## 2. EQUILIBRAGE DE RESSOURCES

### 2.1 Elaboration d'une fonction d'équilibrage de charge

D'une façon générale, l'élaboration d'une fonction d'équilibrage de charge décrite dans la figure 1. pour un système en réseau, informatique ou autre, requiert la mise en œuvre des fonctionnalités suivantes :

a) Un gestionnaire de l'état de charge du système (composant d'information) a pour objectif, le maintien de l'information concernant l'état de charge de chaque site pour établir la charge globale du système.

b) Un élément de contrôle et prise de décision (composant de contrôle) ; c'est l'élément décisionnel d'une fonction d'équilibrage de charge. Il établit des directives à partir de l'état de charge des nœuds maintenu par le gestionnaire et de la stratégie de répartition qu'il met en œuvre.

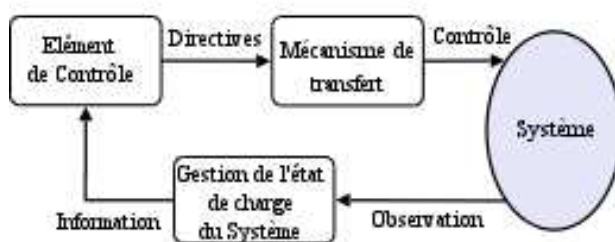


Figure 1. Fonction d'équilibrage de charge

c) Un mécanisme de transfert de la charge; la répartition de charge peut être dynamique ou statique:

- Dans une stratégie statique (placement) : la décision de placement est uniquement basée sur les informations concernant le comportement moyen du système. Dans ce cas, les tâches sont allouées à leur création sur un site et y restent jusqu'à leur terminaison.
- Dans les approches dynamiques (migration) : les décisions sont prises en fonction de l'état courant du système.
  - Gestionnaire de l'état de charge de système

- Élément de contrôle et prise de décision
- Mécanisme de transfert de la charge

Sur la base de cette répartition des rôles :

- Gestionnaire de l'état de charge de système,
- Élément de contrôle
- et prise de décision et Mécanisme de transfert de la charge.

Dans l'étude actuelle, Nous attribuons des rôles à nos agents lors de la modélisation de notre problème en tenant compte de cette façon d'élaboration de charge. Afin que nos agents puissent assurer l'équilibrage de ressources des articles (pièces de rechange) entre les nœuds qui sont dans notre cas les sites.

## 3. LES RESSOURCES MATERIELLES

### 3.1 Identification d'une ressource dans un environnement multi-sites

L'identification d'une ressource matérielle est une phase très importante dans le processus de fonctionnement et principalement dans celui de la maintenance d'une entreprise.

L'exemple de la pièce de rechange est très significative car, Les caractéristiques classiques identifiant une pièce sur une machine ou un ensemble de machines différentes appartenant à un site donné, diffèrent dans le cas d'une entreprise possédant plusieurs sites car, il faut dans ce cas, identifier le ou les fournisseurs de cet article et surtout les autres partenaires de l'entreprise avec lesquels la coopération et l'équilibrage en matière de cette ressource est possible et surtout avoir accès à leur système d'information, via un réseau local dédié, ou via un réseau VPN ou carrément via un Internet sécurisé.

### 3.2 Classification de la pièce de rechange dans une entreprise étendue

La gestion d'un article est spécifique à la classe à laquelle il appartient. La politique de réapprovisionnement en découle étroitement. C'est en fonction de cette classification que les réponses aux questions :

- Quoi réapprovisionner?
- Quand réapprovisionner?
- Combien réapprovisionner?
- Et surtout, de quel site partenaire se réapprovisionner?

Nous adapterons la classification dite de ABC, basée sur le principe de 20/80 de Pareto à la gestion de la pièce de rechange :

- Classe A : appelée Articles à Rotation Lente (SMI).
- Classe B : appelée Articles à Rotation Moyenne (NMI).
- Classe C : appelée Articles à Rotation Rapide (FMI).

Nous nous intéresserons particulièrement aux articles de la classe C qui sont des articles courants, généralement peu chers en prix unitaires, mais largement utilisés, donc très coûteux pour l'entreprise. Ils doivent être disponibles dans tous les magasins de l'ensemble des sites, mais en quantités « optimales ».

## 4. MODELISATION

### 4.1 Agent

Il n'y a pas d'unanimité sur une définition commune à toute la communauté travaillant sur les systèmes Multi-Agents (SMA) au concept d'agent. Néanmoins. A à notre humble avis, comme un système se basant sur les agents est appelé être implémenté, sa définition doit être donnée donc, de point de vue de la distance de l'implémentabilité du concept par rapport à la définition théorique avancée. C'est-à-dire, du fait qu'on parle d'agent logiciel, nous devons être pragmatique et énoncer des définitions qui sont implémentables sur machine.

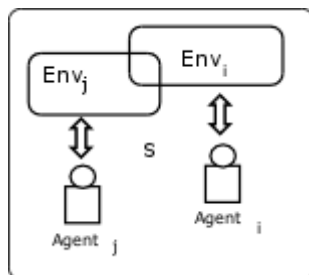


Figure 2. L'Agent et son Environnement

En ce qui suit, nous présentons les définitions les plus importantes :

- Un agent est une entité qui perçoit son environnement et agit sur celui-ci" (Russell, 1997)
- Un agent est un système informatique, situé dans un environnement, et qui agit d'une façon autonome pour atteindre les objectifs (buts) pour lesquels il a été conçu (Wooldrige et Jennings, 1995).
- Les agents intelligents sont des entités logicielles qui réalisent des opérations à la place d'un utilisateur ou d'un autre programme, avec une sorte d'indépendance ou d'autonomie, et pour faire cela ils utilisent une sorte de connaissance ou de représentation des buts ou des désires de l'utilisateur." (L'agent IBM);
- Un agent est une entité qui fonctionne continuellement et de manière autonome dans un environnement où d'autres processus se déroulent et d'autres agents existent." (Shoham, 1993);
- Un agent est une entité autonome, réelle ou abstraite, qui est capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, qui, dans un univers multi-agents, peut communiquer avec d'autres agents, et dont le

comportement est la conséquence de ses observations, de ses connaissances et des interactions avec les autres agents (Ferber, 1995).

Nous insistons sur le fait que qu'un agent logiciel doit posséder des ressources propres, sous forme d'objets; cette idée n'est pas contradictoire avec le fait d'avoir des ressources partagées avec d'autres agents de son système, comme une librairie locale de classes, une imprimante, etc.

Il faut noter qu'il y a deux types d'agents :

- a) Agent réactif, dont le comportement se base sur le principe Stimulus/Action,
- b) Agent cognitif ou intelligent, doté d'une forme d'intelligence, car il se base sur son historique pour prendre ses décisions. Il possède donc une base de connaissances dans laquelle il y a tout son passé.

En se basant sur la caractéristique de mobilité, on distingue deux types d'agents :

- a) Agent fixe : c'est un agent réactif ou cognitif, implémenté sur un poste isolé.
- b) Agent mobile, utilisé particulièrement dans les réseaux, utilisé dans l'équilibrage de charges et particulièrement dans la recherche d'informations sur le Web.

Certains chercheurs considèrent que la caractéristique de la mobilité ne fait pas partie de la typologie d'un agent car elle concerne uniquement sa mise en oeuvre.

Dans cette actuelle étude, nous considérons que tous nos agents sont fixes durant leurs mises en oeuvre, car ils travaillent localement, chacun dans son propre site.

### 4.2 Système Multi-Agents

Les SMA proposent une nouvelle approche de modélisation des connaissances. Ils se situent comme un prolongement et une extension des deux notions qui sont l'acteur (Hewitt, 1972) et l'objet. En mettant l'accent sur l'interaction et la satisfaction individuelle. Ils s'interdisent de penser le global centralisé. Dans un SMA, tout est distribué, répartis : le contrôle, la connaissance, les compétences, l'activité, la planification, etc.

De ce fait les SMA s'adaptent bien aux systèmes complexes et ouverts où il est difficile de tout décrire à l'avance. (Ferber, 1995) donne la définition formelle suivante :

On appelle SMA, un système composé des éléments suivants :

- Un environnement Env, c'est-à-dire, un espace disposant généralement d'une métrique ;
- Un ensemble d'objets O, ces objets sont situés, c'est-à-dire que pour tout objet, il est possible, à un moment donné, d'associer une position dans Env. les

objets sont passifs, c'est-à-dire qu'ils peuvent être perçus, créés, détruits et modifiés par les agents ;

- Un ensemble A d'agents, qui sont des objets particuliers, lesquels représentent les entités actives du système ;
- Un ensemble de relations R qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux ;
- Un ensemble d'opérations Op. Permettant aux agents de A de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de O ;
- Des opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification, que l'on appellera les lois de l'univers.

Il existe un cas particulier de systèmes dans lequel  $A = O$ , et  $Env(S)$  est un ensemble vide. Dans ce cas, les relations R définissent un réseau : chaque agent est lié directement à un ensemble, d'autres agents que l'on appelle accointances. Ces systèmes, que l'on peut appeler SMA purement communicants, sont très courants en IAD.

En ce qui nous concerne dans ce papier, nous disons qu'un SMA est un ensemble d'agents en interaction entre eux, répondant à l'architecture d'un système donné et obéissant à un modèle d'organisation, et sur la base d'un modèle d'interaction entre les agents de ce système, activent pour l'émergence d'une solution globale associée au système dans son globalité et des solutions individuelles associées aux agents respectifs du système.

#### 4.3 Identification des différents agents de notre système

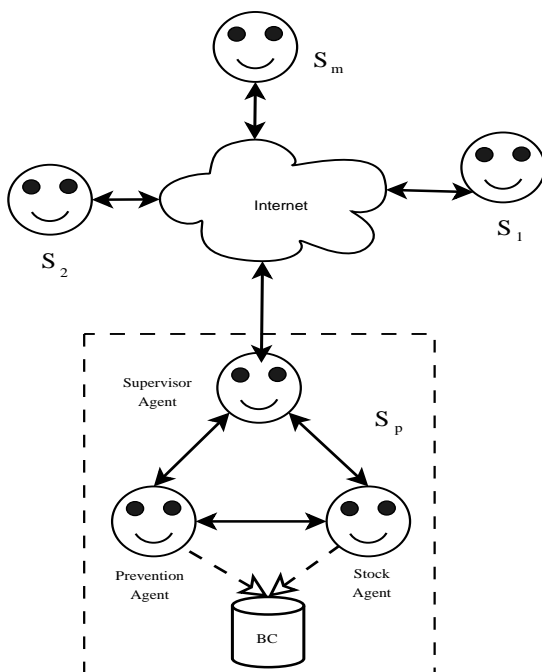


Figure 4. La répartition des rôles des agents

Sur la base des types et le volume de charge des tâches que doit effectuer le système. Une répartition des rôles sur des agents logiciels du système doit être faite. Pour cela, en prenant en considération les différents rôles au sein de chaque site, nous avons opté pour la répartition des rôles suivants :

- **Agent superviseur** : C'est l'agent maître du système associé à un site, son rôle est de gérer et contrôler le fonctionnement du système. L'agent superviseur décrit l'ensemble des objectifs du système C'est lui qui communique les quantités entrantes et sortantes d'articles, comme montré dans la figure 4. C'est lui qui lance aussi les requêtes d'acquisition et d'offre de la pièce de rechange. C'est le superviseur qui reçoit et envoie les messages aux autres sites. Il joue donc le rôle d'une interface par rapport aux autres sites, selon le script précédent et observe son état .

```
// Je suis l'interlocuteur du site Sp
DO_PARALLEL {
  IF " Si je reçois un message d'offre de Sm pour un
  article k " {
    " ENTRER en négociation avec Sm "
  }
  IF " Si je reçois un message de demande de Sm pour un
  article k " {
    " ENTRER en négociation avec Sm "
  }
  IF "Je reçois un message de sous-stockage de mon
  agent de prévention pour un article k" {
    "SEND un message de demande de l'article k à mon
    environnement"
  }
  IF "Je reçois un message de sur-stockage de mon agent
  de prévention pour un article k" {
    "SEND un message d'offre de l'article k à mon envi-
    ronnement"
  }
}
```

Figure 4. Script de l'agent superviseur

- **Agent prévention** : L'agent prévention est un agent intelligent (Figure. 5), muni de capacité de décider en fonction de sa base de connaissance (BC). Cet agent étudie les opérations de prévention des quantités des articles qui sont disponibles. Se basant sur des algorithmes calculant les consommations antérieures et d'autres critères de disponibilité, de MTBF (Mean Time Between Failure), de taux de défaillance, de MMTR (Mean time To Repair), etc. Il a donc la capacité de prévoir les cas de sous-stock ou de sur-stock des quantités d'articles, sur la base des  $T_{prev}$  calculés pour chaque article. Il envoie des messages d'urgence à l'agent superviseur en lui indiquant, pour un type d'article, s'il y a sur-stockage ou sous-stockage.

Cet agent consulte donc la base de donnée d'une façon continue et périodique et guette les cas qui peuvent pro-

voquer des situations anormales afin de prévenir et envoyer des messages d'alerte à l'agent superviseur. Notre étude accorde plus d'importance à l'aspect prévention, donc au script de l'agent dédié à ce rôle, car cela assure une gestion optimale des ressources à l'entreprise étendue dans un cadre coopératif entre tous les sites de cette dernière.

```
// Je suis l'agent prévention du site  $S_p$ 
FOR every period  $T$  {
  FOR every article  $k$  {
    Calcul de  $T_{prev}$ 
    IF  $P_{k,p,prev} < 0$  {
      Calcul de  $T_{rupture}$ 
      // Je veux éviter une rupture de stock avant
      //  $T_{rupture}$ 
      SEND (Supervisorp,  $P_{k,p,prev}$ , demand,  $T_{rupture}$ )
    }
    ELSE
      IF  $P_{k,p,prev} > 0$  {
        // Je peux offrir à partir  $T_{courrant}$ 
        SEND (Supervisorp,  $P_{k,p,prev}$ , offer,  $T_{rupture}$ )
      }
    }
  }
}
```

Figure 5. Script de l'agent de prévention

- **Agent gestionnaire de stock** : c'est un agent réactif dépourvu de toute forme d'intelligence, son rôle est la gestion de stock, au sens classique, telles que la consultation de la base de donnée et sa mise à jour. Cet agent reçoit l'ordre de l'agent superviseur.

On remarque finalement que le système possède des agents cognitifs et d'autres réactifs. L'agent prévention est un agent cognitif, c'est-à-dire qu'il possède une capacité de raisonner sur la base de son passé, qui est la consommation antérieure et toutes les autres informations se trouvant dans sa base de connaissance. Les agents qui appartiennent au même groupe d'agents, se reconnaissent via leurs superviseurs qui communiquent entre eux.

#### 4.4 MODELE D'ORGANISATION

Notre modèle d'organisation (Benaouda A. and zerhouni N and Varnier C., 2004) se base sur la notion du groupe (figure 6). En effet, nous avons prévu un agent facilitateur appelé coordonnateur des accointances du groupe (CAG) dont le rôle est la coordination et la réception des besoins en quantité d'articles des différents sites du groupe, sur-stockage  $p_{k,p,surplus}$  et sous-stockage  $p_{k,p,deficit}$  pour chaque article  $k$ . il classe ces besoins, optimise les couts pour chaque article et répond aux demandeurs, selon le script suivant :

```
Réceptionner_les_offres_d'appels ()
Optimiser_les_couts ()
Classer_les_offres ()
Répondre_aux_requêtes_émanant_des_sites_selon_le_meilleur_cout ()
```

Habituellement, un agent, en cas d'autosuffisance des ressources au sein du même groupe, reçoit ses requêtes essentiellement de la part des membres du groupe. Dans le cas contraire, il peut toujours en recevoir d'autres, émanant d'autres sites appartenant à d'autres groupes, via le Coordonnateur Inter-Groupes, que nous avons appelé le CIG. Son rôle consiste à la contribution à l'établissement de l'équilibre des ressources au début, une fois cet équilibre atteint, il lui reste qu'à le surveiller, c'est-à-dire éviter le déséquilibre.

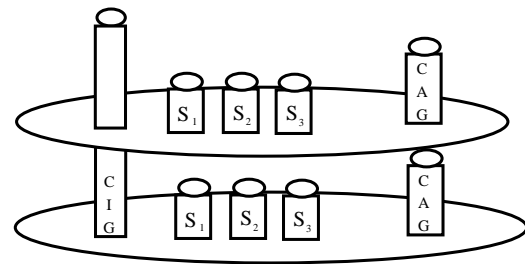


Figure 6. Notre modèle d'organisation

Plusieurs demandes émanant de plusieurs demandeurs peuvent concerner le même article à un instant  $T$  donné, pour son meilleur coût ou sa rareté et provoquant ainsi une section critique.

La centralisation de la négociation d'un groupe au niveau d'un CAG possède deux inconvénients qui sont :

- goulet d'étranglement
- risque de panne du coordonnateur d'accointances

Elle présente néanmoins plus d'avantages que d'inconvénients:

- Avoir le maximum d'informations. disponibles à un instant  $T$ ,
- Eviter les messages de diffusion (broadcast) aux sites du même groupe plusieurs fois pour l'acquisition ou l'offre d'un article quelconque.
- Permet de déléguer des opérations aux autres groupes via le CIG.
- La solution proposée est facilement implémentable.

#### 5. EQUILIBRAGE COOPERATIF ET PREVENTIF DE RESSOURCES

L'objectif de notre SMA au moment de son exécution est la réalisation d'un équilibrage des ressources entre les différents sites du système. Pour ce faire, l'agent prévention de chaque site détecte les situations anormales de sur-stockage et de sous-stockage, et en informe son superviseur qui entre en interaction, par principe de coopération, avec les autres agents superviseurs des autres sites, afin d'assurer cet équilibrage.

Cet agent étudie la consommation antérieure de l'article sur une période, il se base sur une fonction de consommation afin de déterminer la consommation



future et détecter par conséquent la date où aura lieu la rupture de stock.

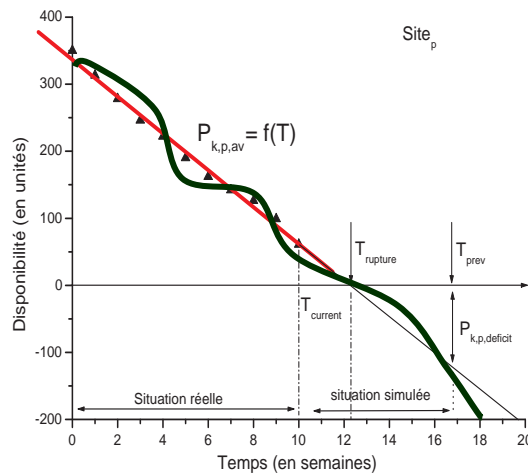


Figure 7. Principe de fonction de consommation

Plusieurs méthodes sont appliquées pour la détermination de la fonction de consommation, nous en citons ici principalement les deux méthodes connues de Paretto et de Wilson.

Pour notre cas, nous avons utilisé notre propre méthode (Benaouda A. and N. Zerhouni and C. Varnier, 2004) elle se base sur l'approximation des moindres carrés (Figure 7) et appliquée principalement aux articles de la classe dite de C ou classe de rotation rapide (FMI) où la consommation des articles est très courante et généralement peu chers.

Les deux figures 8a et 8b, montrent une simulation du script de l'agent prévention implémenté sur chaque site, il a pour rôle de guetter les situations de dépassement de seuil en sur-stockage ou en sous-stockage.

Dans ce cas, les deux sites  $S_5$  et  $S_8$  sont concernés par la consommation de l'article N°77. En supposant un seuil critique de 4 semaines, le site  $S_5$  est en situation de sur-stockage, car il possède approximativement de 12 semaines avant la rupture de stock, au moment où le site  $S_8$  est en situation de sous-stockage, il a uniquement trois semaines devant lui.

Le site  $S_5$  peut approvisionner donc le site  $S_8$  en article N° 77 et réaliser une forme d'équilibre de ressource pour ce même article.

Ce procédé se généralise pour tous les articles et pour tous les sites concernés par cette coopération.

Notons ici que ce calcul se fait localement et pour chaque site et pour chaque article avec :

- Une périodicité pour chaque article,
- Détermination de deux seuils critiques, de sur-stockage et de sous-stockage.

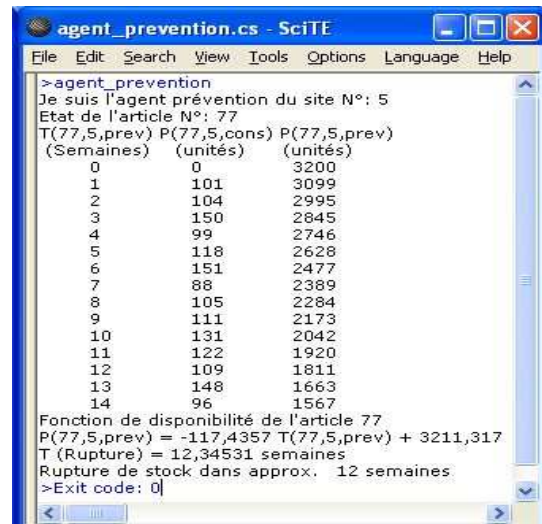


Figure 8a. Simulation de l'agent prévention (Cas de sur-stockage)

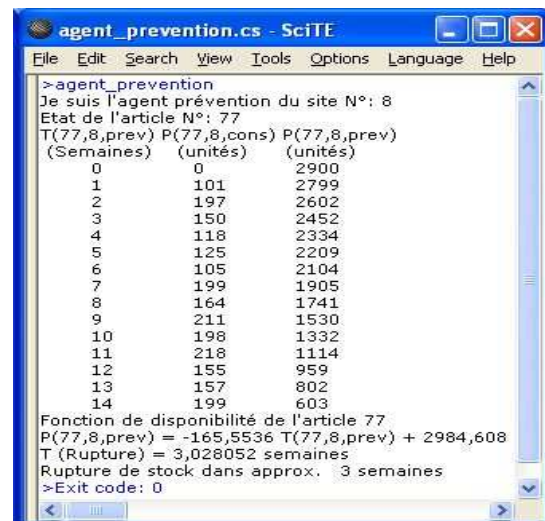


Figure 8b. Simulation de l'agent prévention (Cas de sous-stockage)

## 6. MISE EN ŒUVRE DE LA SOLUTION SOUS FORME WEB-SERVICES

### 6.1 Les Web-Services

Nous pouvons définir un Web-Service comme étant un composant d'application programmable accessible via les protocoles Internet standard (HTTP, HTTPS, etc.).

Deux techniques sont utilisées pour réaliser un Web-Service :

- a) XML-RPC (XML Language Remote Procedural Call) : Solution exploitant HTTP (**POST** pour les requêtes) et XML pour les applications distribuées.

- b) SOAP : *Simple Object Access Protocol* définit par le W3C pour pallier aux limitations de XML-RPC

Nous allons nous intéresser directement à la deuxième solution car l'architecture que nous proposons s'appuie sur le SOAP, qui est en réalité un code XML véhiculant des données structurées, il a la forme suivante :

```
<SOAP:Envelope xmlns:SOAP="urn:schema-
xmlsoap-org:soap.v1">
  <SOAP:Body>
    Ici notre requête d'offre ou de demande
  </SOAP:Body>
</SOAP:Envelope>
```

L'architecture proposée selon la figure 9 permet de développer des services Web qui encapsulent tous les niveaux de fonctionnalité métier. En d'autres termes, un service Web peut être très simple, par exemple renvoyer la température actuelle, ou bien constituer une application complexe. Cette architecture autorise également la combinaison de plusieurs services Web pour la création d'une nouvelle fonctionnalité. L'architecture des services Web se base sur trois agents logiciels :

- un fournisseur,
- un demandeur,
- et un agent « annuaires ».

Le fournisseur crée le Web-service et le met à la disposition des clients qui souhaitent l'utiliser. Un demandeur est une application client qui utilise ce Web-service. Le Web-service demandé peut également être client d'autres Web-services. L'agent, qui peut être par exemple un registre de services, permet au fournisseur et au demandeur d'un service Web de communiquer.

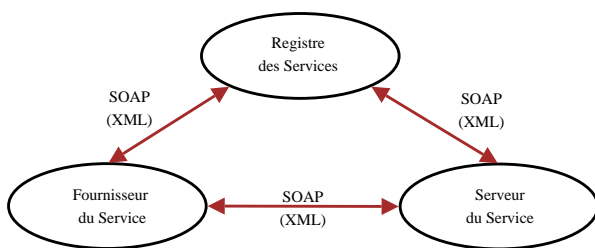


Figure 9. Principe d'un Web-Service

Les trois rôles de fournisseur, de demandeur et d'agent possédant l'annuaire des services, appelé communément UDDI, interagissent les uns avec les autres par l'intermédiaire des opérations de publication, de recherche et de liaison. Un fournisseur informe l'agent de l'existence du service Web en utilisant l'interface de publication de cet agent pour permettre aux clients d'accéder au service. Les informations publiées décrivent le service et spécifient son emplacement. Le demandeur consulte l'agent pour localiser un service Web publié. Grâce aux informations sur ce dernier obtenu par l'agent, le demandeur peut lier, ou l'appeler.

Nous rappelons très brièvement que les agents doivent communiquer via le Web, et que le support logiciel « middleware » qui doit être utilisé s'appelle SOAP (Simple Object Access Protocol). Ce dernier permet le transport des messages qui sont encodés en XML par l'intermédiaire de protocoles HTTP, HTTPS ou SMTP dans un environnement décentralisée et distribuée.

Pour notre cas, les trois acteurs logiciels distribués (serveur du service, annuaire des services et le demandeur du service) qui sont sur le web doivent communiquer entre eux en utilisant un protocole de communication de type HTTP ou HTTPS. Cela permet à nos agents de pénétrer n'importe quel pare-feu des réseaux locaux utilisateur d'Internet.

La figure 10 montre la mise en œuvre de notre solution sous forme de Web-Service, chaque site  $S_m$  demandeur d'un article est considéré comme demandeur de service auprès d'un autre site  $S_p$  acquéreur d'articles après avoir consulté l'annuaire du CAG qui affiche les meilleures offres donc meilleurs services.

Nous rappelons que notre modèle d'organisation SMA se base sur un agent facilitateur représentant d'un groupe appelé Coordonnateur des Accointances du groupe (CAG) dont le rôle est de regrouper des doléances, offrir si le cas est un sur-stockage ou demande si c'est un sous-stockage, des membres appartenant au même groupe.

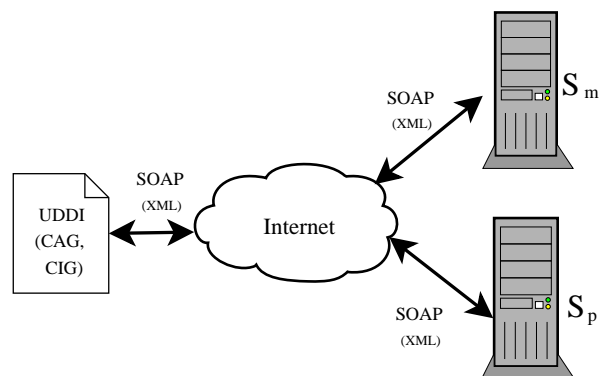


Figure 10. Notre solution en Web-Service

Par opposition, chaque site  $S_m$  acquéreur d'un article est considéré comme demandeur de service auprès d'un autre site  $S_p$  demandeur d'articles après avoir consulté le même annuaire du CAG qui affiche les meilleures demandes donc meilleurs services.

Exceptionnellement, et comme montré dans le protocole d'organisation de notre solution proposée, si une requête de la part d'un site  $S_m$  ne trouve pas de réponse favorable dans l'annuaire du CAG, c'est le Coordonnateur Inter-groupes qui prendra en charge cette requête et remplace le CAG.



## 7. CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce papier une architecture de système multi-agents coopératifs pour la gestion des ressources matérielles appartenant à une entreprise étendue et supposées distribuées sur des sites distants et reliés par Internet.

Nous avons pris, comme jeu de données d'essai la pièce de rechange, car cette dernière est d'une importance vitale pour n'importe quelle entreprise.

En effet, la solution proposée permet de gérer et d'une façon préventive cette ressource en réalisant un équilibrage en cette même ressource entre tous les sites de l'entreprise, en supposant bien sûr qu'ils sont connectés entre eux par Internet, car nous avons proposé comme solution dédiée pour cela se basant la technologie des Web-Services.

Cette solution, une fois mise en œuvre sur le Web permet d'éviter à chacun des sites partenaires un dépassement de seuils tolérés en matière de disponibilité d'articles (en sur-stockage et en sous-stockage) et permet, par conséquent d'ajouter de la valeur à l'entreprise.

En perspective de ce travail, nous comptons intégrer dans cette étude autres critères de coûts autres que celui de la disponibilité d'articles qui a été pris en considération dans cette actuelle étude.

## REFERENCES

- Benaouda A and Zerhouni N. and C. Varnier, *Spare part management for e-maintenance platform*, IEEE: Mechatronics & Robotics 2004, pp 1152-1157, Vol III, September 2004, Edited by Paul Drews, Aachen, Germany.
- Benaouda A and Zerhouni N. and C. Varnier, 2005 and Mostefai M., Une démarche préventive pour La gestion de la pièce de rechange dans une entreprise étendue, 7<sup>ème</sup> Congrès International de Génie Industriel, Besançon, France, 7-10 Juin, 2005.
- Ferber, J., 1995a, Les systèmes multi-agents: Vers une intelligence collective. InterEditions, 1995.
- Ferber, J., 1999b, Multi-Agent Systems. An Introduction to Distributed Artificial Intelligence. Addison-Wesley, 1999.
- Hewitt, C., 1975, Viewing Control Structures as Patterns of Message Passing, MIT Press, 1975.
- Russell, S.J, 1997, Rationality and intelligence. Artificial Intelligence, Vol. 94, 1997. p.57-77.
- Shoham, Y., 1993, Agent-oriented programming. Artificial Intelligence, Vol. 60, 1993. p.51-92.
- Wooldridge M. and Jennings N. R., 1995, Agent theories, architectures, and languages. Dans Wooldridge, Jennings (ed), Intelligent Agents, Springer Verlag, 1995. p.1-22.
- Wooldridge, M, 2001, Intelligent agents. In Multiagent Systems - A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, G. Weiss (Ed.), MIT Press, 2001, p.27-77.